

低温微量润滑技术在几种典型难加工材料加工中的应用

Application of CA-MQL Technology to Several Typical Difficult-to-Machine Material Machining

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 袁松梅 刘 思 严鲁涛



袁松梅

工学博士,副教授。主要从事绿色切削技术及装备、智能结构及器件研究。主持高档数控机床与基础制造装备科技重大专项课题、国家自然科学基金、教育部高等学校科技创新工程重大项目培育资金项目、教育部留学回国人员科研启动基金、国家科技支撑计划子课题及企业科研项目等多项课题,申请国家发明专利 15 项,第一发明人已授权国家发明专利 4 项。EI 收录文章 13 篇,SCI 收录文章 4 篇。

低温微量润滑切削技术概述

切削加工中大量使用切削液引发了环境污染和危害工人健康等问题,而干式切削技术又存在诸多局限性,因此对环境污染小、对人体无害

低温微量润滑切削技术是低温冷风切削技术与微量润滑切削技术的集成,它既融合了低温冷风切削技术与微量润滑切削技术的优势,同时又弥补了 2 种切削技术单独应用时的缺陷,在难加工材料的切削加工上体现出了显著的优越性。

的低温微量润滑技术的研究成为机械加工领域研究的热点之一。低温微量润滑切削技术是低温冷风切削技术(Cooling Air, CA)与微量润滑切削技术(Minimal/Minimum Quantity Lubrication, MQL)的集成,它既融合了低温冷风切削技术与微量润滑切削技术的优势,同时又弥补了 2 种切削技术单独应用时的缺陷,在难加工材料的切削加工上体现出了显著的优越性。

1 微量润滑切削技术

该项技术是将压缩空气与极少量的润滑剂混合汽化后,形成毫、微米级汽雾喷向切削区,对刀具与工件和刀具与切屑的接触界面进行润滑。在减少摩擦和粘结的同时也冷却了切削区并有利于排屑,从而显著地改善了切削加工条件。微量润滑技术的优势比较明显:润滑剂以高速雾粒供给,改善了润滑剂的渗透

性,提高了冷却润滑效果;MQL 所使用的润滑剂用量一般为每小时几十毫升,而浇注切削液形式的使用量为每分钟几十升;MQL 技术使用的润滑剂量很少,且具有绿色环保特性,既提高了工效,又不会对环境造成污染;切削区域外的刀具、工件和切屑清洁干燥,切屑经过压缩就可以回收使用,不会增加清洗成本;MQL 可以根据工况规定润滑的最佳浓度,消除了切削液中悬浮粒子污染,改善了工人的工作环境;MQL 系统简单、占地小,易于安装在各种类型的机床上。

2 低温冷风切削技术

该项技术是将 $-100\sim-10^{\circ}\text{C}$ 的冷风经喷嘴送至切削区,可使切削区的温度大大降低,同时引发被加工材料的低温脆性,使切削过程变得较为容易进行,并相应改善刀具磨损状况的切削方法。低温冷风切削与传统切削相比,能够提高加工效率,改善

工件表面质量,而且对环境几乎无污染。

以上2种绿色加工技术虽然优点突出,但单独使用时也存在诸多局限性。由于单纯依靠润滑油的润滑作用,没有相应的制冷设施,微量润滑切削技术存在以下缺点:冷却性能不足,对于难加工材料切削区温度高的问题难以解决;润滑剂在高温作用下存在润滑油膜破裂、润滑失效等问题。高速切削或材料难加工时,切削区温度迅速升高,润滑剂的润滑性能下降,导致加工性能恶化。而使用低温冷风切削时,刀具与工件材料的润滑性又较差。如果将低温介质与润滑剂有效结合,充分利用冷却介质降低切削区的温度,利用润滑剂的润滑特性,减小摩擦,则可实现比大量浇注切削液更佳的冷却润滑效果。这种低温微量润滑切削技术不仅避免了对环境产生污染,而且能保持甚至提高加工质量。

北京航空航天大学绿色制造技术研究课题组自2005年以来,一直致力于低温微量润滑切削技术的研究,现已研制出2套成熟的低温微量润滑系统。

低温微量润滑切削技术在几种典型难加工材料切削加工中的应用

难加工材料,如钛合金、高温合金、不锈钢、高强钢等,通常具有强度高、抗氧化能力强、耐高温等特点。它们在满足高性能使用要求的同时,也给切削加工带来了许多难题。加工难加工材料时,切削区温度很高,刀具寿命短,零件表面质量一般难以达到目标要求。传统切削液对环境污染严重,而且相关研究也表明,切削液的使用会造成刀具表面的急冷冲击,引发崩刀、微裂纹等问题,加速了刀具破损。低温微量润滑切削技术在难加工材料的切削加工上体现了巨大的优越性,既满足了零件加工

质量的要求,提高了加工效率和刀具使用寿命,又大幅减少了切削液的使用量。

1 低温微量润滑切削技术在钛合金切削上的应用

钛合金因具有比强度高、耐腐蚀性好、耐热性高、无磁、透声等特点而被广泛用于各个领域。钛合金的主要切削性能包括:导热性能低、冷硬现象严重、高温时与气体发生剧烈化学反应、塑性低、弹性模量小、弹性变形大等。切削钛合金材料时,粘刀现象明显,切屑卷曲不易快速排除。

低温切削钛合金的方式多采用液氮或低温冷风切削,Nandy A. K. 等使用低温冷风混合一定润滑油剂车削加工钛合金 TC4,并与工厂车间内的传统加工方式进行对比,发现此方法不仅降低了车削力,提高了刀具寿命,而且在断屑、排屑方面优势突出。此外,Hong S. Y.、Paul S.、Venugopal K. A. 等也都采用低温方式对钛合金材料做了切削试验,并得到了不错的试验效果。本课题组采用自主研发的低温微量润滑系统进行了一系列的钛合金(TC4)铣削试验,分别采用了5种冷却润滑方式:干式切削、传统浇注式切削、冷风切削(CA)、微量润滑切削(MQL)和低温微量润滑切削(MQL-CA),并研究了各种冷却润滑方式对刀具磨损、切削力、加工表面质量的影响。其中图1、2分别为不同冷却润滑方式下的铣削力值、刀具磨损进程随时间变化曲线。试验结果表明:在选定的切削

参数,使用低温微量润滑方式切削钛合金 TC4 能有效减小切削力、刀具磨损,提高刀具寿命,改善已加工表面质量,并且实现了低温微量润滑切削钛合金 TC4 的加工效率比传统的浇注式切削提高了20%~30%。

2 低温微量润滑切削技术在高温合金(GH4169)切削上的应用

高温合金按基体金属可分为铁基高温合金、镍基高温合金和钴基高温合金。高温合金具有优良的耐高温、耐腐蚀特性,在飞机、火箭等关键件设计中经常使用。该材料具有导热率低、加工硬化严重、切削时粘结现象严重、刀具磨损剧烈等特点。

由于GH4169材料的应用范围广泛,但其加工性能极差,国内外许多学者对该材料的低温加工特性做了较为深入的研究。Kim S. W. 和 Zhong Z. W. 使用低温切削高温合金,延长了刀具寿命的同时,还提高了工件的表面质量。北京航空航天大学绿色制造技术研究课题组在使用低温微量润滑切削高温合金GH4169

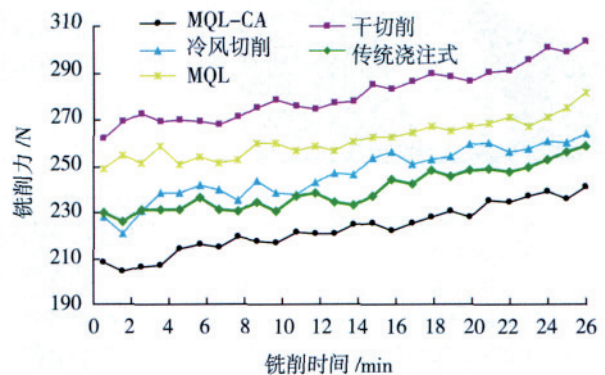


图1 铣削钛合金的铣削力值变化

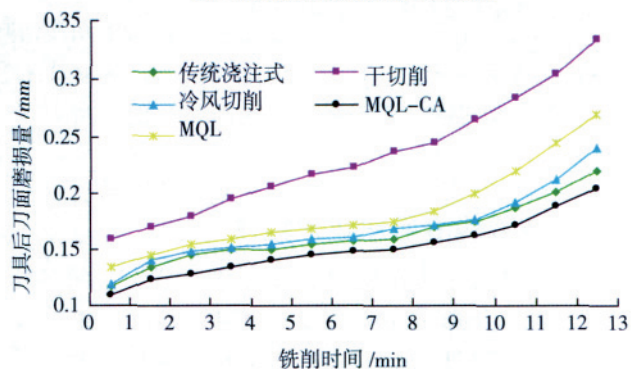


图2 切削钛合金的刀具磨损进程

上做了大量研究。其中图3是在不同切削参数下传统浇注切削与低温微量润滑切削高温合金GH4169的铣削力值曲线;图4为2种冷却润滑方式在不同切削参数下的工件表面粗糙度值对比;图5表示2种冷却方式下工件表面硬度情况。研究表明,在所选定的切削参数下,使用低温微量润滑切削GH4169可以显著降低切削力、已加工表面粗糙度值,提高刀具寿命,并且工件加工硬化现象也有所改善。

3 低温微量润滑切削技术在切削不锈钢上的应用

本课题组就1Cr18Ni9Ti不锈钢作为切削试验对象,1Cr18Ni9Ti不锈钢的相对可切削性约在0.3~0.5之间,是一种难切削材料,其切削加工特性主要表现在:(1)高温强度和高温硬度高,在700℃时其机械性能仍没有明显的降低,故切屑不易被切离,切削过程中切削力大,刀具易磨损;(2)塑性和韧性高,延伸率、断面收缩率和冲击值都较高,切屑不易切离、卷曲和折断,切屑变形所消耗的功能增多,并且大部分能量转化为热能,使切削温度升高;(3)该材料的导热率低,散热差,由切屑带走的热量少,大部分的热量被刀具吸收,致使刀具的温度升高,加剧刀具磨损;(4)该材料熔点低,易于粘刀,切削过程中易形成积屑瘤,影响表面加工

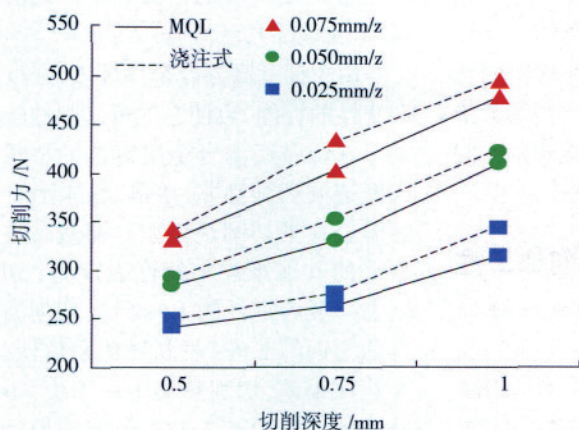


图3 不同切削参数下的铣削力值

质量。

由于1Cr18Ni9Ti的切削加工性很差,特别是在断续切削时,刀具极易产生磨损和粘结破损。本课题组研究了该种不锈钢在低温微量润滑条件下的铣削特性。通过试验比较了不同切削参数下传统切削和低温微量润滑切削的冷却润滑效果。结果表明:在所选的材料和切削参数条件下,采用低温微量润滑切削在抑制刀具磨损和降低切削力方面的效果明显好于传统切削;同时冷风温度对刀具磨损有一定的影响,尤其在线速度较大的情况下,冷风温度越低,抑制刀具磨损的效果越好;但冷风温度对切削力的影响较小。

4 低温微量润滑切削技术在高强度钢切削上的应用

高强度钢是指强度及韧性方面结合很好的钢种,抗拉强度一般在1200MPa以上,经过调质处理后可获得较高的强度,硬度在HRC30~50之间。随着机械工业的发展,对机器和零件的性能要求越来越高,高强度钢的使用更加普遍,零件在制造过程中的加工难度日益凸显。高强度钢具有以下加工特点:切削力大,在相同的切削条件下切削力值是切削45号钢的1.17~1.49倍;切削温度高;刀具耐用度低;断屑性能差。本课题组就低温微量润滑切削技术切削高强度钢的应用上也做了大量研究。通过高强度钢的铣削试验比较了干式切削、传统

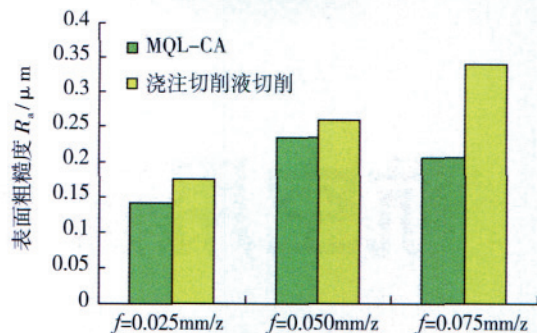


图4 不同切削参数下的工件表面粗糙度值

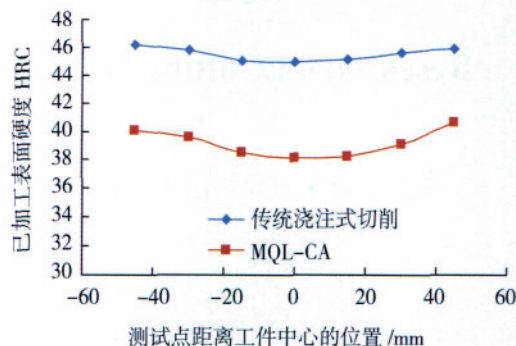


图5 不同冷却方式下得到的工件表面硬度

浇注切削、低温冷风切削和低温微量润滑切削的冷却润滑效果,研究了这几种冷却润滑方式对切削力、刀具磨损、表面粗糙度和切屑的影响。试验结果证明:在所选的材料和切削参数条件下,采用低温微量润滑的铣削力仅为传统切削的60%,并且其可以较好的抑制刀尖处粘接物的产生,降低刀具磨损,提高工件表面质量。试验中观测到使用低温微量润滑方式切削产生的切屑几乎无蓝色区域,蓝色切屑是高温下切屑被氧化形成的。这说明低温微量润滑方式有效解决了切削高强度钢时切削区温度高的难题。

结束语

低温微量润滑技术能够提供与传统浇注切削相当甚至更好的冷却润滑性能,在适宜的切削参数下,可以更有效地解决切削难加工材料时,切削区温度高,刀具寿命短等难题。它给切削难加工材料提供了一种清洁、高效的方法。

(责编 岭雾)